

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Berechnung der Zahnfußtragfähigkeit
von Innenverzahnungen
mit Zahnkranzeinfluss

VDI 2737

Calculation of the load capacity of the
tooth root in internal toothings with
influence of the gear rim

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note	2
Einleitung	2	Introduction	2
1 Anwendungsbereich	5	1 Scope	5
2 Formelzeichen	6	2 Symbols	6
3 Grundbeziehungen zum Nachweis der Sicherheit gegen Dauerbruch und Schäden infolge von Anriss, bleibender Verformung und Gewaltbruch	11	3 Basic relationships for the proof of safety against fatigue fracture and damage caused by crack initiation, permanent deformation and overload breakage	11
3.1 Sicherheit gegen Dauerbruch	11	3.1 Fatigue fracture safety	11
3.2 Sicherheit gegen Schäden infolge von Anriss, bleibender Verformung (und Gewaltbruch)	13	3.2 Safety against damage caused by crack initiation, permanent deformation (and overload breakage)	13
4 Spannungskonzentrationsfaktoren	15	4 Stress concentration factors	15
4.1 Steifer (sehr dicker) Zahnkranz	15	4.1 Stiff (very thick) gear rims	15
4.2 Elastisch gestalteter Zahnkranz	16	4.2 Elastically designed gear rims	16
5 Spannungsanteile und ihre Überlagerung	18	5 Stress components and their superposition	18
5.1 Zahnfußspannung ohne Zahnkranzeinfluss (Schritt 1)	18	5.1 Tooth root stress without influence of the gear rim (Step 1)	18
5.2 Zahnfußspannung mit Zahnkranzeinfluss ohne Verformungsbehinderung durch umgebende Teile (Schritt 2).	18	5.2 Tooth root stress with influence of the gear rim without obstruction of deformation by adjacent parts (Step 2).	18
6 Bestimmung der Zahnfußfestigkeit, abhängig von der Mittelspannung	21	6 Determination of the tooth root strength, dependent on the mean stress	21
7 Methodisches Vorgehen beim Tragfähigkeitsnachweis	25	7 Methodical procedure in the proof of load capacity	25
7.1 Erforderliche Vorgaben für den Nachweis in Schritt 1 und Schritt 2	25	7.1 Required specifications for the proof in Step 1 and Step 2	25

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (GPP)

Fachbereich Getriebe und Maschinenelemente

VDI-Handbuch Getriebetechnik II: Gleichförmig übersetzende Getriebe

	Seite
7.2 Zahnfußtragfähigkeit für Schritt 1 und Schritt 2	26
7.2.1 Sicherheit gegen Dauerbruch	26
7.2.2 Sicherheit gegen Schäden infolge der Maximalbelastung (Lastspitze)	26
Anhang A Beispiel	40
Anhang B Formfaktoren Y_{Fa} , Y_{Fad} , Kopffaktor Y_{FS} und Spannungskonzentrationsfaktoren Y_{Sab} , Y_{SFt} , Y_{SMb} und Y_{SZ} für gegebene Zahnfußrundungen	52
Anhang C Zahnfußgeometrie, Berechnungsgleichungen der Kerbparameter	71
Anhang D Ermittlung der Biegehebelarme h_{Fa} , h_{Fe} und der Kraftangriffswinkel α_{Fa} , α_{Fe}	76
Schrifttum	77

	Page
7.2 Load capacity of the tooth root for Step 1 and Step 2	26
7.2.1 Fatigue fracture safety	26
7.2.2 Safety against damage caused by maximum loading (peak load)	26
Annex A Example	41
Annex B Form factors Y_{Fa} , Y_{Fad} , tip factor Y_{FS} and stress concentration factors Y_{Sab} , Y_{SFt} , Y_{SMb} and Y_{SZ} for given tooth fillets	53
Annex C Tooth root geometry, computational equations of the notch parameters	71
Annex D Determination of the bending moment arms h_{Fa} , h_{Fe} and of the angles of force application α_{Fa} , α_{Fe}	76
Bibliography	77

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Einleitung

Der übliche Nachweis der Zahnfußtragfähigkeit von Stirnrädern bedarf bei Innenverzahnungen einer wesentlichen Ergänzung. In den meisten Fällen liegt eine nicht vernachlässigbare Zahnkranzbeanspruchung vor, die sich auf die Tragfähigkeit bedeutend auswirken kann. Brüche können sowohl durch den Zahnfuß („dicke“ Zahnkränze) als auch durch den Zahnkranz („dünne“ Zahnkränze) verlaufen. Im Folgenden wird dieses nur durch den Begriff „Zahnfußbruch“ ausgedrückt.

Diese Richtlinie berücksichtigt zusätzlich die Zahnkranzbeanspruchung und damit verbundene Einflüsse. Im Mittelpunkt steht dabei die Ermittlung und Bewertung der örtlichen Spannung im Zahnfuß. Sie

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

Introduction

Essential completion is required for the usual proof of the load capacity of the tooth root of internal toothings. In most cases, there is a nonnegligible loading of the gear rim, which may considerably affect the load capacity. Fractures may run across the tooth root (“thick” gear rims) as well as the gear rim (“thin” gear rims). In the following, this is only expressed by the term “tooth root fracture”.

In addition, this standard takes into account the loading of the gear rim and influences connected with it. The primary focus is the determination and evaluation of the local stress in the tooth root. It starts from

geht vom Grundaufbau und den Grundgleichungen von DIN 3990 oder ISO 6336 aus und präzisiert die Berechnung der vom Bereich der Zahnfußübergangskurve ausgehenden Beanspruchung für den Zahnfuß- bzw. Zahnkranzquerschnitt. Die Ermittlung der örtlichen Spannung und ihre Bewertung wird ergänzt bzw. präzisiert. Zu den erforderlichen Ergänzungen gehören:

- Die Berechnung der *Kerbparameter* $2\rho_{Fn}/s_{Fn}$ erfolgt näherungsweise an der 60°-Tangente. Sie stimmt bei Innenverzahnungen besser mit dem Ort der maximalen Spannung überein als die 30°-Tangente. Bei genaueren Analysen muss durch ein punktweises Absuchen der Zahnfußkurve der Ort der minimalen Sicherheit, der in der Umgebung der 60°-Tangente liegt, bestimmt werden.
- Die *wirkende Spannung* σ_F wird als Spanne zwischen größter Biege-Zug- und betragsmäßig größter Biege-Druck-Spannung berechnet (Doppelamplitude), die während des Umlaufs bzw. eines Spannungszyklus wirksam ist (prinzipieller Verlauf der Zahnfußspannung siehe Bild 1).
- Die *wirksame örtliche Spannung* wird mit speziell ermittelten Spannungskonzentrationsfaktoren berechnet.

the basic structure and the fundamental equations of DIN 3990 or ISO 6336 and by means of it the calculation of the loading of the cross section of tooth root or gear rim proceeding from the region of the fillet curve is rendered more precise. The determination of the local stress and its evaluation are complemented or specified. Among the required supplements are:

- The calculation of the *notch parameters* $2\rho_{Fn}/s_{Fn}$ is carried out approximately at the 60°-tangent. In internal toothings it agrees better with the location of maximum stress than the 30°-tangent. For more precise analyses the location of minimum safety, situated in the neighbourhood of the 60°-tangent, must be determined by point-by-point scanning of the root curve.
- The *effective stress* σ_F is calculated as the margin between the highest bending-tensile stress and the bending-compressive stress highest in amount (peak-to-peak amplitude) that is effective during the revolution or a stress cycle (see Figure 1 for the general profile of the tooth root stress).
- The *effective local stress* is calculated with specifically determined stress concentration factors.